

Все радиочастотные соединители мира.

Часть 5. Соединители миллиметрового диапазона и прецизионные соединители

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.
kbd.istok@mail.ru

Создание соединителей миллиметрового диапазона длин волн началось в середине 1970-х годов. Усилиями прежде всего американских компаний через 20 лет соединители достигли предельной частоты 110 ГГц и заняли свое место среди других компонентов миллиметрового диапазона. В эти же годы быстрыми темпами шло развитие прецизионных соединителей, в том числе инструментальных и метрологических, без которых невозможно создание радиоизмерительной аппаратуры. В статье рассмотрены эти две группы соединителей.

Параметры воздушных коаксиальных линий соединителей

Для повышения предельной частоты соединителей необходимо было уменьшить размеры их коаксиальной линии и перейти с линии, заполненной твердым диэлектриком, на воздушную линию. Основные параметры воздушных коаксиальных линий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры воздушных коаксиальных линий

Соединители	Размеры проводников линии, мм		Волновое сопротивление, Ом	Предельная частота, ГГц
	наружного	внутреннего		
3,5-мм	3,5 ± 0,005	1,52 ± 0,01	50 ± 0,5	34
2,9-мм	2,92 ± 0,05	1,27 ± 0,007	50 ± 0,6	40
2,4-мм	2,4 ± 0,01	1,04 ± 0,01	50 ± 0,95	50
1,85-мм	1,85 ± 0,007	0,8 ± 0,007	50 ± 1	65
1-мм	1 ± 0,007	0,434 ± 0,005	50 ± 1,15	110

В конструкции соединителя имеется наружный проводник, являющийся заземленным экраном, и внутренний проводник,

закрепленный в опорной диэлектрической шайбе. Усилия разработчиков соединителей были направлены на создание более совершенной диэлектрической опорной шайбы и надежных внутренних проводников. С увеличением частоты необходимо не только уменьшать размеры коаксиальной линии, но и повышать их точность. Естественно, что на высоких частотах возрастают величина КСВН и уровень высокочастотных потерь соединителей.

3,5-мм соединитель

Первым шагом в продвижении к высоким предельным частотам было создание соединителей с воздушной коаксиальной линией размерами 3,5/1,52 мм — 3,5-мм соединителей. За основу был принят базовый соединитель SMA с коаксиальной линией размерами 4,1/1,27 мм, заполненной фторопластом. Из нее удалили фторопластовый изолятор, заменив его воздухом. Крепление внутреннего проводника и герметизация соединителя были осуществлены при помощи опорной диэлектрической шайбы.

Первой в серии 3,5-мм соединителей стала модель, разработанная инженерами Hewlett-Packard (ныне Agilent) и Amphenol. Ее выпустили в 1976 году под обозначением APC-3,5 (Amphenol Precision Connector 3,5 mm) (рис. 1).

Теоретическая предельная частота воздушной коаксиальной линии 3,5/1,52 мм равна 38,8 ГГц. Обследование соединителя APC-3,5, проведенное фирмой Hewlett-Packard, показало возможность его применения на частоте до 34 ГГц. Кабельные 3,5-мм соединители предназначены для работы с полужестким кабелем марок RG-405 и RG-402. Разработаны розетка кабельная, приборно-кабельная, панельная фланцевая, кабельная вилка, а также выводы энергии (рис. 2).

3,5-мм соединители совместимы с базовым соединителем SMA, так как в устройствах обеих серий применен резьбовый механизм соединения вилки и розетки (резьба 1/4-36UNS). Параметры пары соединителей 3,5-мм и SMA существенно лучше, чем у пары соединителей SMA, особенно в области высоких частот. За счет уменьшения внутреннего диаметра наружного проводника коаксиальной линии

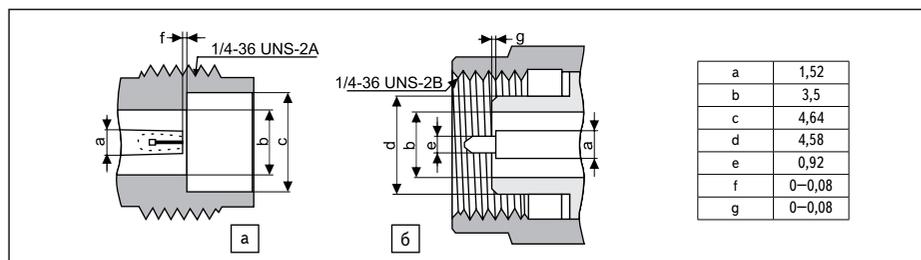


Рис. 1. Интерфейс 3,5-мм соединителя: а) розетка; б) вилка



Рис. 2. Соединители 3,5-мм

Таблица 2. Параметры 3,5-, 2,9-, 2,4-, 1,85- и 1-мм соединителей

Параметры соединителей	3,5-мм	2,9-мм	2,4-мм	1,85-мм	1-мм
Волновое сопротивление	50				
Рабочий диапазон частот, ГГц	0–34 (0–26,5) оптимально	0–45 (0–40) оптимально	0–50	0–65	0–110
Рабочее напряжение, В	500	250	400	500	–
Напряжение пробоя, В	1500	750	750	1000	–
Экранное затухание (на частоте f , ГГц), дБ	–90 (26,5)	–90	–(120– f)	–(120– f)	–
Максимальный КСВН в рабочем диапазоне частот	1,15	1,4	1,3	1,3	1,4
Высоочастотные потери (на частоте f , ГГц), дБ	$0,15\sqrt{f}$ (0,09 max)	$0,04\sqrt{f}$	$0,05\sqrt{f}$	$0,05\sqrt{f}$	$0,7$ (max)
Допустимая мощность (на частоте), Вт	159 (1 МГц)		10 (10 ГГц) 4,5 (50 ГГц)	10	6
Сопротивление изоляции, МОм	5000	5000	≥ 3000	≥ 3000	≥ 3000
Сопротивление контактов, МОм: – центрального – наружного	2 1	3 2	3 2	3 2,5	6 –
Момент затягивания гайки при соединении, Н·см	80–110	80–110	90–110	90–110	90–110
Допустимое количество соединений и рассоединений	500				
Диапазон рабочих температур, °С	–65...+90	–65...+90	–55...+165	–55...+165	–55...+125

в 3,5-мм соединителях приблизительно в два раза (по сравнению с соединителями SMA) увеличена толщина стенки корпуса в области совмещения вилки и розетки. К тому же корпус соединителя выполнен из нержавеющей стали. Поэтому 3,5-мм соединители имеют жесткую конструкцию и воспроизводимые электрические параметры.

3,5-мм соединители соответствуют требованиям стандарта IEC 169-23. Их основные параметры приведены в таблице 2.

3,5-мм соединители выпускают Amphenol, Huber+Suhner, Rosenberger, Frontlynk и другие компании. Эти устройства применяют в радиоизмерительной аппаратуре на частоте до 26,5 ГГц.

Немного истории

В начале 1970-х годов специалисты компаний Alford Manufacturing и American Microwave Industries (позднее Omni-Spectra) разработали униполярный соединитель с коаксиальной линией размерами 3,5/1,27 мм с предельной частотой 36 ГГц. Однако из-за конструктивных недостатков он не получил распространения. В 1973 году в корпорации Maury Microwave (Maury) был разработан соединитель MPC2 с предельной частотой 40 ГГц — первый радиочастотный соединитель миллиметрового диапазона. Однако и он не нашел применения вследствие высокой стоимости и несовместимости с соединителями SMA и других типов. В 1974 году компания Maury создала соединитель MPC3 с коаксиальной линией 2,92/1,27 мм, совместимый с соединителем SMA. Аналогичный соеди-

нитель WMP4 был разработан фирмой Weinschel Engineering. Однако эти соединители также не были востребованы в должной мере, так как в то время еще отсутствовала область их широкого применения и не была создана вся необходимая измерительная и метрологическая аппаратура.

Вслед за Maury в 1975 году в корпорации Kelvin Microwave был разработан соединитель KMC-SM с воздушной коаксиальной линией и предельной частотой 40 ГГц, совместимый с соединителем SSMA. Он был включен в стандарт IEC 169-18 и некоторое время выпускался компаниями Kelvin Microwave и Huber+Suhner.

И только спустя несколько лет, в 1983 году, Билл Олдфилд (Bill Oldfield) из компании Wiltron разработал соединитель К. Название этого соединителя возникло из-за того, что он перекрывает K_a -область частот (26–40 ГГц). Была создана и необходимая измерительная аппаратура, в частности автоматический скалярный анализатор для частотного диапазона 0,1–40 ГГц.

Соединитель 2,9 (2,92 мм) (соединитель К)

Соединитель К — первый из радиочастотных соединителей, нашедший эффективное применение в изделиях микроэлектроники миллиметрового диапазона. Он особенно ценен в качестве коаксиально-микрополоскового перехода (КМПП) для передачи сигнала с микрополосковой линии (МПЛ) на радиочастотный кабель. Соединитель состоит из миниатюрного ме-

таллостеклянного ввода с волновым сопротивлением 50 Ом и собственно соединителя (часто называемого СВЧ-разъемом) с воздушной коаксиальной линией 2,92/1,27 мм (рис. 3, 4).

Металлостеклянный ввод длиной 1,4 мм с центральным проводником $\varnothing 0,3$ мм и наружным проводником $\varnothing 1,9$ мм удобен для вывода сигнала с полоска МПЛ шириной 0,25 мм, размещенного на подложке толщиной 0,25 мм из окиси алюминия или дюронида. Ввод вплавляют в корпус изделия, его центральный проводник соединяют с гнездовым контактом соединителя, а сам соединитель прикручивают к корпусу изделия или вкручивают в него. Внутренний проводник с обеих сторон имеет гнездовые контакты с четырьмя ламелями и закреплен в опорной диэлектрической шайбе. Теоретически предельная частота воздушной линии размерами 2,92/1,27 мм равна 46,5 ГГц. Необходимо было стремиться, чтобы опорная шайба также имела близкую к этой величине предельную частоту. Для этого уменьшили диэлектрическую проницаемость изолятора шайбы, замещая часть материала изолятора воздухом. В соединителе К опорная шайба из материала Rexolit выполнена со ступенчатыми несквозными отверстиями, что позволило снизить эффективную диэлектрическую проницаемость с 2,58 до 2 и достичь предельной частоты 41,6 ГГц.

2,9-мм соединители Southwest Microwave содержат две опорные шайбы. Первая предназначена для закрепления в корпусе соединителя внутреннего проводника. Вторая обеспечивает его соосное расположение относительно наружного проводника, а также защиту соединителя от пыли, влаги и загрязнений.

Оригинальную концепцию опорной диэлектрической шайбы предложили специалисты Radiall. Шайба состоит из четырех пластинок толщиной 125 мкм из полиимидного материала Karton, формируемых в виде звезды вокруг проточки в центральном проводнике.

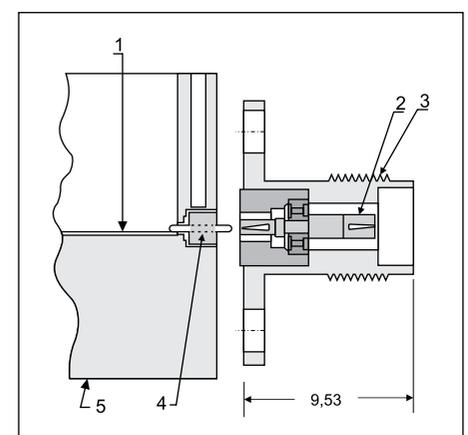


Рис. 4. Соединитель К:
1 — МПЛ; 2 — внутренний проводник;
3 — СВЧ-разъем; 4 — ввод; 5 — корпус изделия

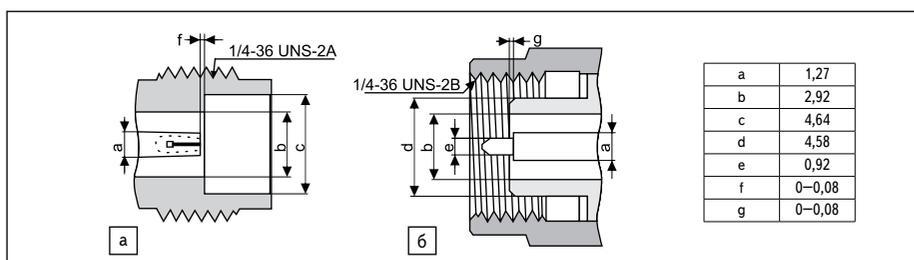


Рис. 3. Интерфейс 2,9-мм соединителя: а) розетка; б) вилка



Рис. 5. 2,9-мм соединители

Картон имеет высокую механическую прочность и сохраняет диэлектрические свойства в диапазоне температур от -60 до $+165$ °С. Опорная шайба занимает небольшую часть внутреннего объема, имеет эквивалентную диэлектрическую проницаемость 1,5, собственную предельную частоту 47 ГГц и практически не вносит помех в коаксиальную линию соединителя.

Составная конструкция соединителя К позволяет в случае выхода из строя производить его замену даже в полевых условиях. Соединитель К и его аналоги совместимы с соединителями SMA и 3,5-мм. При этом параметры согласования пары каждого из этих соединителей с соединителем К лучше, чем для пары однотипных соединителей.

Внешний вид 2,9-мм соединителей показан на рис. 5.

Присоединительные и установочные размеры 2,9-мм соединителей регламентированы международными стандартами MIL-C-39012 и MIL-STD-348. Параметры этих устройств представлены в таблице 2.

2,9-мм соединители производят: Tусо (с обозначением OS-2,9), Southwest Microwave, Radiall, Huber+Suhner (SK), Rosenberger (RPC-2,92) и другие компании.

2,4-мм соединители

Достижение частоты 50 ГГц стало следующим этапом продвижения коаксиальных соединителей в миллиметровом диапазоне длин волн. Программа создания соединителей с предельными частотами 50, а затем 65 ГГц была разработана тремя компаниями США: Hewlett-Packard, Amphenol и M/A-COM. Работа велась по созданию сразу трех модификаций соединителей: промышленной, инструментальной и метрологической. Параллельно разрабатывались и соответствующие адаптеры.

Создание соединителя с предельной частотой 50 ГГц потребовало перехода на воздушную коаксиальную линию с размерами 2,4/1,04 мм (рис. 6).

Внутренний проводник диаметром 1,04 мм, изготовленный из бериллиевой бронзы и покрытый износостойким золотом, закреплен в опорной диэлектрической шайбе. Соединение внутренних проводников вилки и розетки происходит при введении

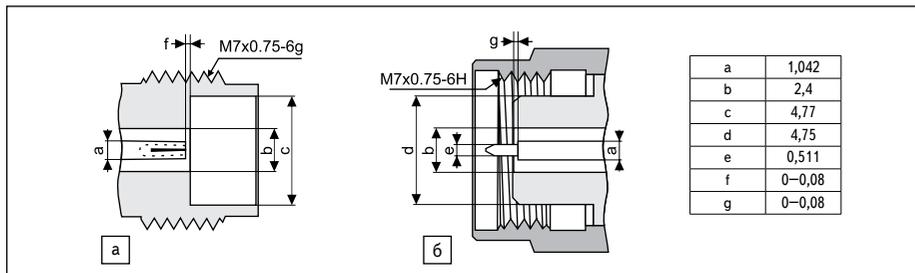


Рис. 6. Интерфейс 2,4-мм соединителя: а) розетка; б) вилка

штыря вилки диаметром 0,511 мм в гнездо с четырьмя ламелями розетки. Корпус соединителя выполнен из коррозионно-стойкой нержавеющей стали с пассивированной поверхностью. Наружный проводник 2,4-мм соединителя имеет большую толщину стенки — 1,2 мм (у соединителей К — 0,8, SMA — 0,25 мм). Благодаря этому улучшается контакт по наружным проводникам вилки и розетки и повышается жесткость конструкции соединителя. Следует подчеркнуть, что впервые на корпусе соединителя применена метрическая резьба M7×0,75-6g, поэтому для совместимости с соединителями SMA, 2,9-мм и 3,5-мм необходимы адаптеры.

Разработаны следующие модификации 2,4-мм соединителей: кабельные розетка и вилка, КМПП, кабельные сборки и адаптеры. КМПП (рис. 7) имеют следующие особенности:

- Фланцевое соединение с корпусом изделия. Используются квадратные фланцы размерами 12,7×12,7 мм с четырьмя крепежными отверстиями и прямоугольные фланцы размерами 15,9×7,0 мм с двумя крепежными отверстиями.
- Прямоугольное сечение центрального проводника (толщина 0,1 мм, ширина и длина — 0,3 мм) в месте выхода КМПП на МПЛ.
- Модификации КМПП для сочетания с МПЛ на подложках из материала с низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 2,2$) при ширине полоска 0,3 и 0,5 мм, а также для МПЛ с полоском шириной 0,38 и 0,25 мм на подложках толщиной 0,38 и 0,25 мм из окиси алюминия ($\epsilon = 9,8$).

КМПП выпускают в негерметичном и герметичном (скорость натекания менее 10^{-9} м³ Па/с) исполнениях. В послед-



Рис. 7. 2,4-мм соединители (КМПП)

нем случае конструкция 2,4-мм соединителя сходна с конструкцией соединителя К. Герметичность обеспечивается 50-омным металлокерамическим вводом с диаметром наружного проводника 1,9 мм, внутреннего проводника — 0,3 мм. Кабельные соединители предназначены для работы с полужесткими радиочастотными кабелями RG-405 и 0,096 дюйма, а также с полужестким кабелем диаметром 2,4 мм.

В метрологических соединителях Hewlett-Packard гнездовой контакт выполнен без ламелей (slotless — без прорезей). Традиционные гнезда с ламелями изменяют свой наружный диаметр при введении штыря вилки, что приводит к ухудшению КСВН пары соединителей. Соединители этой компании применяют для калибровки радиоизмерительной аппаратуры миллиметрового диапазона длин волн.

2,4-мм соединители соответствуют требованиям стандарта IEEE-STD 287. Параметры соединителей представлены в таблице 2.

2,4-мм соединители применяют при создании широкополосной радиоизмерительной аппаратуры, а также в изделиях микроэлектроники СВЧ на монолитных интегральных схемах. В ряде случаев эти соединители стали альтернативой волноводов. 2,4-мм соединители выпускают Tусо (с обозначением OS-2,4 или OS-50), Amphenol (APC-2,4), Rosenberger (RPC-2,4), Southwest Microwave, Agilent и другие компании.

1,85-мм соединители

Эти устройства с предельной частотой 65 ГГц называют еще V-соединителями, так как они перекрывают V-диапазон частот (50–75 ГГц). Они были созданы в середине 1980-х годов фирмой Hewlett-Packard. В них реализована воздушная коаксиальная линия размерами 1,85/0,83 мм и использованы базовые решения, примененные при создании 2,4-мм соединителей (рис. 8).

В 1,85-мм, и в 2,4-мм соединителях применена резьба M7×0,75-6g, что делает их совместимыми между собой. Для работы с SMA, 3,5-мм, 2,92-мм и другими соединителями созданы соответствующие адаптеры.

Серия 1,85-мм соединителей включает в себя кабельные соединители, составные КМПП, кабельные сборки и адаптеры. В качестве примера представлена номенклатура

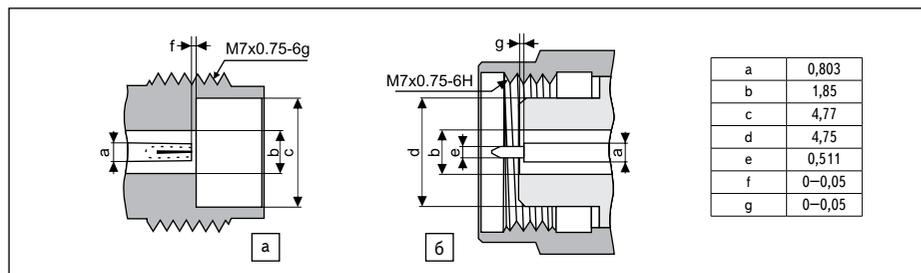


Рис. 8. Интерфейс 1,85-мм соединителя: а) розетка; б) вилка

этих соединителей и аксессуаров, выпускаемых компаниями Anritsu:

- V101M — кабельный соединитель вилка;
- V101F — кабельный соединитель розетка;
- V102M — вкручиваемый КМПП вилка;
- V102F — вкручиваемый КМПП розетка;
- V103M — фланцевый составной КМПП вилка с двумя крепежными отверстиями;
- V103F — фланцевый составной КМПП розетка с двумя крепежными отверстиями;
- V100, V100B — 50-омные металлокерамические вводы для соединителей V102 и V103;
- V110-1 — скользящий контакт для соединения КМПП с МПЛ;
- V085 — полужесткий радиочастотный кабель диаметром 2,16 мм.

Вкручиваемые КМПП применяют при большой толщине стенки изделия, а при малой ее толщине — фланцевые, с двумя крепежными отверстиями во фланце (рис. 9).



Рис. 9. 1,85-мм соединители

Диаметр центрального проводника металлокерамического ввода, применяемого в составных КМПП, равен 0,23 мм. В качестве изолятора использовано стекло Corning 7070. Металлические поверхности ввода покрыты золотом.

Надежность любого радиочастотного соединителя зависит от усилия вхождения штыря вилки в гнездо розетки и соосности

пары соединителей в момент сочленения. Для повышения надежности 1,85-мм соединителя усилие вхождения штыря в гнездо уменьшено вдвое по сравнению с 2,4-мм соединителями, а длина штыря сделана минимально возможной, чтобы уменьшить влияние несоосности.

Кабельные соединители вилка и розетка рекомендуются применять с полужестким кабелем диаметром 2,16 мм. Этот кабель выполнен с микропористым фторопластовым диэлектриком и медным внутренним проводником. Кабель обеспечивает высокую фазовую стабильность и низкий уровень КСВН — 1,35 на частоте до 60 ГГц. Кроме того, Anritsu выпускает адаптеры серии HP1190 для совместимости с соединителями других типов.

1,85-мм соединитель соответствует требованиям стандарта IEEE-STD 287. Его параметры представлены в таблице 2.

Соединители представляют интерес для ввода/вывода сигналов в сверхширокополосных анализаторах цепей на частоте до 65 ГГц. Первый такой анализатор модели 360 с коаксиальным выходом, работающий в диапазоне частот 40–60 ГГц, был создан компанией Wiltron.

Компании, разрабатывающие коаксиальные устройства миллиметрового диапазона, также используют 1,85-мм соединители. Еще в 1989 году Microwave Research and Development создала направленный ответвитель с номинальным коэффициентом связи 13 дБ, направленностью 10 дБ и с допустимой мощностью 20 Вт. Ведутся работы по созданию промышленных коаксиальных устройств миллиметрового диапазона, преимущественно военного назначения, для систем локальной связи, наведения ракет и узкополосных радаров.

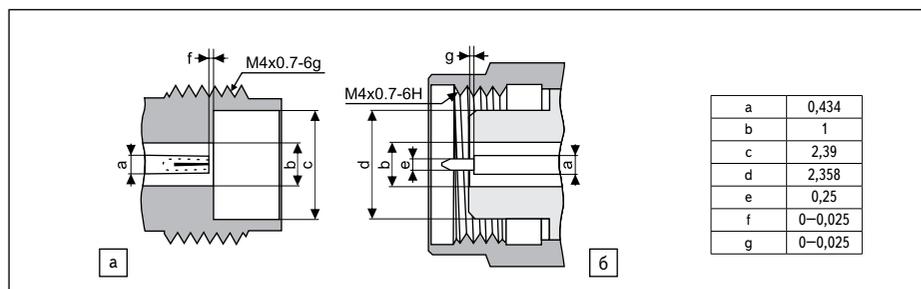


Рис. 10. Интерфейс 1-мм соединителя: а) розетка; б) вилка

1,85-мм соединители выпускают Tусо (с обозначением OS-65), Amphenol (APC-1,85), Rosenberger (RPC-1,85), SM Electronics (SMC185), Maury (GPC1,85) и другие компании.

1-мм соединители

В 1-мм соединителе (другое название — W-соединитель, по области его применения) была впервые реализована воздушная коаксиальная линия с размерами 1/0,434 мм, с точностью 5 мкм (рис. 10).

Соединитель имеет традиционную конструкцию штырь-гнездо. Закрепление соединения вилки и розетки достигается при помощи накидной гайки с метрической резьбой M4×0,7, имеющей размер «под ключ» 6 мм. Для совместимости с соединителями других типов необходимы соответствующие адаптеры. Диаметр ответного штыря равен 0,25 мм. Разрезное гнездо с четырьмя ламелями длиной 1 мм и шириной паза между ними 0,06 мм имеет толщину стенки 0,09 мм. Внутренний проводник соединителя закреплен в диэлектрической шайбе со специальным подобранным согласованием.

При создании столь миниатюрного соединителя были приняты необходимые меры по предотвращению поломки его внутреннего проводника. Присоединительные размеры устройства обеспечивают контакт внутренних проводников розетки и вилки только после соединения наружных проводников соединителей. Поверхности штыря и гнезда выполнены с исключительно высокой чистотой. Естественно, что при столь малых размерах внутренних проводников розетки и вилки их соосность в момент соединения должна быть близка к идеальной. Следует подчеркнуть, что 1-мм соединители, так же как и 1,85-мм и 2,4-мм соединители, требуют исключительно бережного обращения при работе с ними.

Внешний вид 1-мм соединителей показан на рис. 11.

1-мм соединитель предназначен для работы с полужестким радиочастотным кабелем диаметром 0,047 дюйма и совместим с 2,4- и 1,85-мм соединителями.

Agilent выпускает КМПП розетку типа 11923A для измерительной аппаратуры с диапазоном частот до 110 ГГц. В этом диапазоне его КСВН не превышает 1,38, а прямые потери — менее 1 дБ. Кроме того, разработаны метрологические соединители «розетка» с неразрезным гнездовым контактом.

Аналогичные КМПП типов W1-103F и W1-105F и вилка W1-105M выпускает



Рис. 11. 1-мм соединители

Anritsu. Обе компании — Agilent и Anritsu — разработали большую серию адаптеров для совмещения 1-мм соединителей с устройствами других серий. 1-мм соединитель и адаптеры производят Rosenberger, Frontlynk, Kawashima Manufacturing и некоторые другие компании.

1-мм соединитель соответствует требованиям стандартов IEC 61169-31 и IEEE-STD 287. Его параметры представлены в таблице 2. Он является удачным дополнением к ранее разработанным 1,85- и 2,4-мм соединителям и ключевым компонентом при создании ультраширокополосной радиоизмерительной аппаратуры, работающей на частоте до 110 ГГц. Компания Cascade Microtech создала измерительные зондовые устройства с использованием 1-мм соединителей. Фирма Agilent разработала уникальный анализатор цепей HP8510XF на частоту до 110 ГГц и все необходимые аксессуары для его настройки и калибровки, включая адаптеры и кабельные сборки.

Ведутся также работы по созданию оптико-электрических конвертеров, элементов устройств радаров и беспроводной связи соответствующего частотного диапазона с применением этих соединителей.

Прецизионные соединители

В конце 1950-х годов появилась необходимость в создании прецизионных соединителей для высокоточной измерительной аппаратуры. В начале 1960-х годов были созданы униполярные 14- и 7-мм соединители: GR900 (900 series General Radio connector) и APC-7 (7-mm Amphenol Precision Connector) и затем прецизионный соединитель N. В последующем, в 1970–1980-е годы были разработаны 3,5-, 2,92-, 2,4-, 1,85- и 1-мм прецизионные соединители.

Прецизионными принято считать соединители с высоким уровнем параметров, которые имеют высокую предельную частоту и повышенный срок службы. Для этого должны быть выполнены следующие условия:

- жесткие допуски на присоединительные размеры;
- сложная конструкция контактирующих элементов центральных проводников (неразрезные гнезда, подпружиненные контакты);
- покрытие износостойким золотом внутренних и наружных проводников.

Исходя из этого, широко применяемые соединители BNC, TNC SMA не входят в число прецизионных.

Различают две группы прецизионных соединителей: LPC (Laboratory Precision Connectors) и GPC (General Precision Connectors). Соединители LPC и GPC одной серии внешне выглядят одинаково. Однако соединители LPC выполнены с большей точностью, и их корпуса изготовлены исключительно из нержавеющей стали. К тому же

Таблица 3. Градации радиочастотных соединителей

Соединитель	Метрологический	Инструментальный	Общего применения	Предельная частота, ГГц
7-16	—	+	+	7,5
BNC	—	—	+	2
TNC	—	+	+	3
N(50 Ом)	+	+	+	18
N(75 Ом)	+	+	+	18
7-мм (APC-7)	+	+	+	18
SMA	—	—	+	22
3,5-мм	+	+	+	34
2,92-мм	—	+	+	44
2,4-мм	+	+	+	52
1,85-мм	—	+	+	70
1-мм	—	+	+	110

Примечание: + — имеется, — — отсутствует.

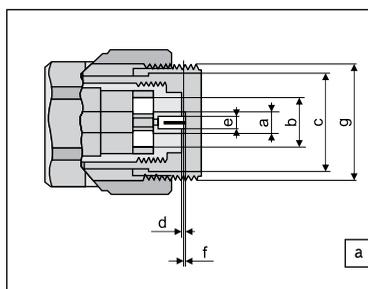
в соединителях LPC применяют только воздушную коаксиальную линию. В соединителях GPC может применяться коаксиальная линия, заполненная диэлектриком, чаще всего фторопластом.

Существуют три градации радиочастотных соединителей: метрологические, инструментальные и общего применения (табл. 3).

Метрологические соединители с воздушной коаксиальной линией и волновым сопротивлением 50 Ом применяют в радиоизмерительной аппаратуре для калибровки и проверки. Они обеспечивают наивысшую точность и воспроизводимость результатов измерений, что обусловлено высокой точностью изготовления и применением гнездовых контактов без прорезей. Корпуса соединителей изготавливают только из нержавеющей стали, гнездовые контакты — из упрочненной бериллиевой бронзы. Метрологические соединители имеют большой срок службы и обеспечивают без ухудшения параметров до нескольких тысяч соединений и разъединений.

Инструментальные соединители применяют в радиоизмерительной аппаратуре в сочетании с различными кабелями и адаптерами. Они обеспечивают высокую точность и воспроизводимость результатов измерений и большое количество соединений и разъединений с ответным соединителем. Соединители входят в состав калибровочных комплектов для радиоизмерительной аппаратуры.

Соединители общего применения по сравнению с метрологическими и измерительными соединителями имеют более низкий уровень параметров и меньший срок службы.



	min	max
a	3,0397 ном.	
b	6,995	7,005
c	14,85	14,86
d	0	0,005
e	0,06	0,085
f	0,05	0,38
g	11/16-24UNEF-2A	



Рис. 12. Соединители RPC-7: а) интерфейс; б) внешний вид

При тестировании соединители общего применения подключают к радиоизмерительной аппаратуре через соответствующие адаптеры. Адаптеры иногда называют «хранителями» соединителей, так как они предохраняют их от износа и повреждения, не внося при этом существенных искажений в измерительную схему.

Соединители APC-7 (RPC-7)

Униполярный (sexless) соединитель APC-7 (Amphenol Precision Connector) с наружным диаметром коаксиальной линии 7 мм был разработан Hewlett-Packard для измерительной аппаратуры. После его усовершенствования в середине 1960-х годов его стала выпускать и компания Amphenol. Аналогичный соединитель компании Rosenberger имеет обозначение RPC-7. Интерфейс униполярного соединителя RPC-7 показан на рис. 12а, а его внешний вид — на рис. 12б.

Общепринятое обозначение 7-мм соединителей — GPC-7 (General Precision Connector-7).

Соединители APC-7 и RPC-7 механически совместимы между собой, имеют предельную частоту 22 ГГц и предназначены для работы с полужестким радиочастотным кабелем марок 0,141", UT141, 0,085" (RG-405), UT85 или их аналогами.

Параметры соединителей APC-7 представлены в таблице 4.

Соединители применяют в качестве входных и выходных портов радиоизмеритель-

Таблица 4. Параметры соединителей APC-7 и APC-N

Параметры соединителей	APC-7 (RPC-7)	APC-N (RPC-N)	RPC-N (75)
Волновое сопротивление, Ом	50	50	75
Рабочий диапазон частот, ГГц	0–18	0–18	0–4
Рабочее напряжение, В	1000		
Напряжение пробоя, В	2500		
Допустимая мощность (на частоте f , МГц), кВт	$10/\sqrt{f}$		
Максимальный КСВН в рабочем диапазоне частот	1,08	1,08	1,03
Высокочастотные потери (на частоте f , ГГц), дБ	$0,03\sqrt{f}$		
Экранное затухание (на частоте до 3 ГГц), дБ	–90		
Сопротивление контакта, мОм: — центрального — наружного	1 0,1	1 1	1 1
Гарантированное количество соединений и разъединений	5000	500	500
Диапазон рабочих температур, °С	–65...+165	–40...+85	–40...+85

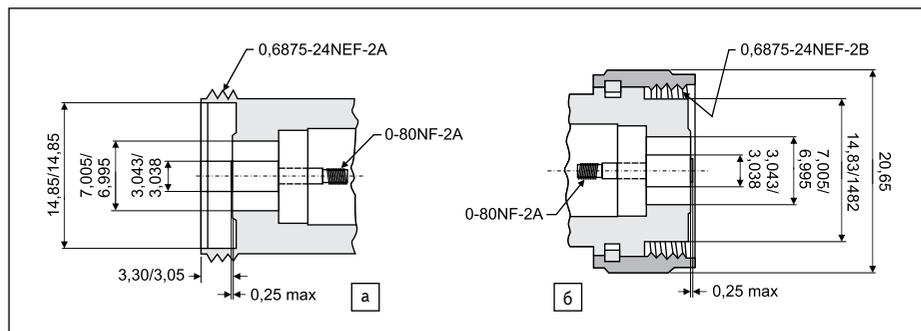


Рис. 13. Интерфейс соединителя APC-N: а) розетка; б) вилка

зона длин волн, потеснив волноводы, хотя еще недавно это казалось лишь заманчивой идеей. Производство радиочастотных соединителей стало самостоятельной областью техники. Постоянно растет число компаний во всем мире (и особенно в Юго-Восточной Азии), производящих радиочастотные соединители. Интенсивно ведутся работы по их совершенствованию. Трудно прогнозировать, какие новые устройства появятся в ближайшее время, но ясно, что эволюция в этой области продолжается.

Литература

1. Джуринский К. Все радиочастотные соединители мира. Ч. 1. Классификация зарубежных радиочастотных соединителей // Компоненты и технологии. 2012. № 10.
2. Джуринский К. Все радиочастотные соединители мира. Ч. 2. Большие, средние и миниатюрные соединители // Компоненты и технологии. 2012. № 11.
3. Джуринский К. Все радиочастотные соединители мира. Ч. 3. Субминиатюрные соединители // Компоненты и технологии. 2012. № 12.
4. Джуринский К. Все радиочастотные соединители мира. Ч. 4. Микроминиатюрные соединители // Компоненты и технологии. 2013. № 1.

ной аппаратуры. Они также входят в состав калибровочных комплектов.

Соединители APC-N (RPC-N)

Униполярные соединители APC-N наряду с APC-7 широко применяются в измерительной аппаратуре и совместимы с другими соединителями при помощи адаптеров. Интерфейс униполярного соединителя APC-N с волновым сопротивлением 50 Ом показан на рис. 13.

Соединители разработаны в двух версиях: с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом. Параметры этих соединителей представ-

лены в таблице 4. КСВН пары соединителей APC-N равен 1,06 в диапазоне частот 0–12,4 ГГц и 1,08 в диапазоне частот 0–18 ГГц. Соединители предназначены для работы с полужестким кабелем 0,25 дюйма и с гибким кабелем RG-214.

Другие соединители, представленные в таблице 4, были рассмотрены ранее.

Заключение

Предельная частота соединителей достигла 110 ГГц. Они заняли свое место среди радиокомпонентов миллиметрового диапа-